

# РАЗРАБОТКА ДЕТЕКТОРА СИГНАЛА СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ С АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

*Перминов Д. О., Мительман Ю. Е.*

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

[danil.perminov.thre@mail.ru](mailto:danil.perminov.thre@mail.ru)

**Аннотация.** Объектом исследования является детектор сигналов сверхвысокой частоты с амплитудной модуляцией.

Цель работы – проектирование детектора сигналов сверхвысокой частоты с амплитудной модуляцией.

В результате работы установлено, что наиболее подходящим типом детектора для заданного сигнала является *RMS*. Спроектирована печатная плата детектора, к изделию составлена конструкторская документация в виде принципиальной схемы, чертежа печатной платы, сборочного чертежа и перечня элементов.

Основные конструктивные, технологические и эксплуатационные характеристики: исследуемые параметры сигнала – динамический диапазон входных мощностей, диапазон рабочих частот, выходное напряжение.

Разработанный детектор имеет меньшую стоимость по сравнению с аналогами.

**Ключевые слова:** амплитудный детектор, сверхвысокие частоты, печатная плата, детектор среднеквадратического значения мощности, амплитудно-модулированный сигнал, *ADL5906*.

## DEVELOPMENT OF MILLIMETER WAVE AMPLITUDE DETECTOR

*Perminov D.O., Mitelman Yu.E.*

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

[danil.perminov.thre@mail.ru](mailto:danil.perminov.thre@mail.ru)

**Abstract.** The object of study is millimeter wave amplitude detector.

The purpose of the research is to construct millimeter wave amplitude detector.

The methods of the current article is to choose appropriate type of detector, to select the component base and to develop PCB in Altium Designer CAD.

As a result of the article it was found that the most suitable type of the detector for the studied signal is *RMS*.

The detector PCB has been constructed. Construction documentation for the detector includes schematic diagram, PCB drawing, assembly drawing and list of elements.

The main design, technological and operational characteristics are the studied parameters of the signal. They are input power dynamic range, operating frequency band and output voltage.

The developed detector has lower price compared to its analogues.

**Key words:** amplitude detector, super high frequencies, printed circuit board, root mean square detector, amplitude modulated signal, ADL5906.

## **ВВЕДЕНИЕ**

На данный момент детекторы СВЧ сигналов широко распространены в связи с высокой надобностью контроля и измерения мощности сигналов в сантиметровом диапазоне длин волн. Величины напряжений и токов на СВЧ могут отличаться в различных сечениях линии передачи и подключение измерительного прибора может влиять на режим работы измерительной цепи, что заставляет переходить к мощности как характеристике уровня сигналов [1].

Проектируемый детектор должен обеспечивать входной динамический диапазон мощностей 55 дБ в диапазоне частот 7–9 ГГц, при мощности первой боковой частоты входного сигнала от минус 80 до минус 25 дБВт. Детектор должен быть способен измерять мощность АМ сигналов с частотой огибающей 100 кГц. Диапазон выходных напряжений 0,2–4 В. Сигнал подаётся через коаксиальный кабель 50 Ом, поэтому вход детектора должен иметь сопротивление 50 Ом. Номинальное напряжение электропитания 27 В, постоянный ток.

По сравнению с результатами, полученными в статье [2], где описано создание СВЧ детектора по технологии КМОП, технический уровень данной работы ниже, т.к. используется готовая элементная база.

## **ВЫБОР ТИПА ДЕТЕКТОРА**

Детекторы на нелинейном элементе обладают характеристикой, которая изменяется от линейной в децибелах к квадратичной, и сильной зависимостью от температуры и частоты. Нелинейные элементы требуют определённого напряжения смещения. Поэтому в качестве типа детектора выберем детектор на ИС. Такие детекторы представляют собой готовую микросхему с заданными параметрами. Удобство таких детекторов обусловлено тем, что можно подобрать необходимое изделие под конкретную задачу. Наиболее подходящим

типом детектора для заданного сигнала является *RMS* детектор, так как он может обладать линейной в децибелах детекторной характеристикой.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Принципиальная схема спроектирована в САПР *Altium Designer* [3] и представлена на рисунке 1.

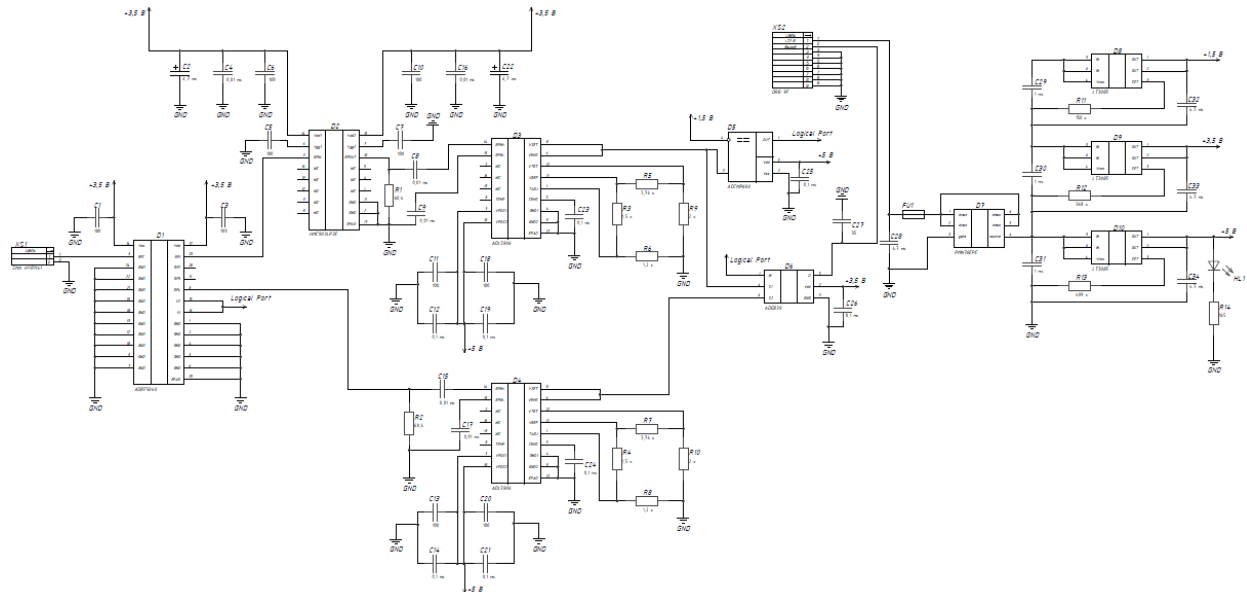


Рисунок 1 – Принципиальная схема детектора

Основной частью схемы является микросхема *ADL5906*. Резистор *R2* и конденсаторы *C15*, *C17* – входная цепь согласования, которая обеспечивает эквивалентное сопротивление 50 Ом, и является ФВЧ.

Для переключения плеч используется СВЧ коммутатор *ADRF5040*. В таблице 1 приведена логика переключения коммутатора [4].

Таблица 1 – Таблица истинности *ADRF5040*

<i>Digital control inputs</i>		<i>Signal path state</i>
$V_1$	$V_2$	
<i>Low</i>	<i>Low</i>	<i>RFC to RF1</i>
<i>High</i>	<i>Low</i>	<i>RFC to RF2</i>
<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>RFC to RF3</i>
<i>High</i>	<i>High</i>	<i>RFC to RF4</i>

Из таблицы видно, что сигнал проходит в верхнее плечо, когда на входах  $V_1$  и  $V_2$  низкий уровень сигнала, и наоборот в нижнее плечо, когда на

логических входах высокий уровень сигнала. Конденсаторы *C1* и *C3* сглаживают пульсации напряжения питания.

В верхнем плече сигнал усиливается с помощью МШУ *HMC903LP3E*. Конденсаторы *C2*, *C4*, *C6*, *C10*, *C16* и *C22* сглаживают пульсации напряжения питания и являются непосредственными источниками питания вблизи микросхемы.

Логикой переключения плеч управляет компаратор *ADCMP600*. опорное напряжение 1,5 В выбрано в соответствии с детекторной характеристикой *ADL5906*.

За коммутацию плеч по постоянному напряжению отвечает микросхема *ADG839*. В таблице 2 приведена логика работы микросхемы *ADG839* [5].

Таблица 2 – Таблица истинности *ADG839*

<i>Logic</i>	<i>Switch S2</i>	<i>Switch S1</i>
<i>0</i>	<i>Off</i>	<i>On</i>
<i>1</i>	<i>On</i>	<i>Off</i>

Из таблицы 2 видно, что нижнее плечо включается, когда на логическом входе коммутатора высокий уровень сигнала, и наоборот, когда уровень сигнала на логическом входе низкий – включается верхнее плечо.

В схеме используется три регулятора напряжения *LT3085*, для получения напряжений 1,5, 3,5 и 5 В.

Светодиод *HL1* используется для индикации питания. Если светодиод горит, то питание присутствует.

Для защиты от подачи питания неправильной полярности используется микросхема *PMN70EPE*.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ ДЕТЕКТОРА

Поскольку часть печатной платы содержит СВЧ линию необходимо правильно рассчитать параметры линии, для согласования входа детектора с волновым сопротивлением коаксиальной линии 50 Ом. В качестве диэлектрика выбран *Rogers 4350b*. Ширина проводника СВЧ линии ограничивается микросхемой *HMC903LP3E* с шириной ножки 0,25 мм. Таким образом параметры линии: ширина проводника равна 0,23 мм, зазор 0,13 мм, высота подложки 0,168 мм, толщина фольги 35 мкм, при КСВ равном 1,1.

Топология печатной платы делится на два слоя: верхний и нижний. На верхнем слое располагаются все компоненты и связи между ними, остальное пространство верхнего слоя заполнено земляным полигоном. Топология

верхнего слоя изображена на рисунке 2. Проводники СВЧ линии выполнены с скругленными углами, что позволяет сохранить их ширину постоянной.

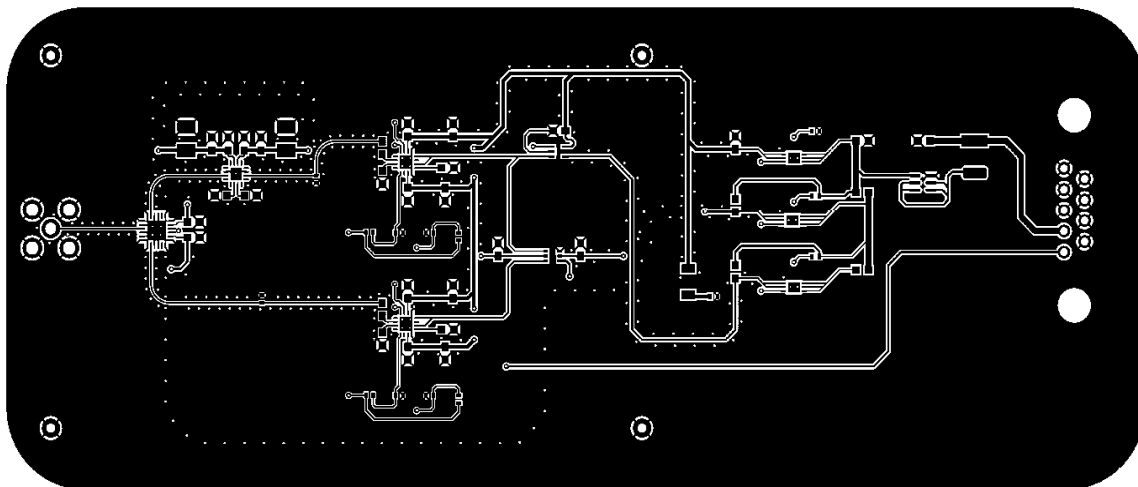


Рисунок 2 – Топология верхнего слоя ДПП

Нижний слой практически полностью представляет из себя земляной полигон, за исключением нескольких проводников, соединяющей переходные отверстия. Топология нижнего слоя изображена на рисунке 3.

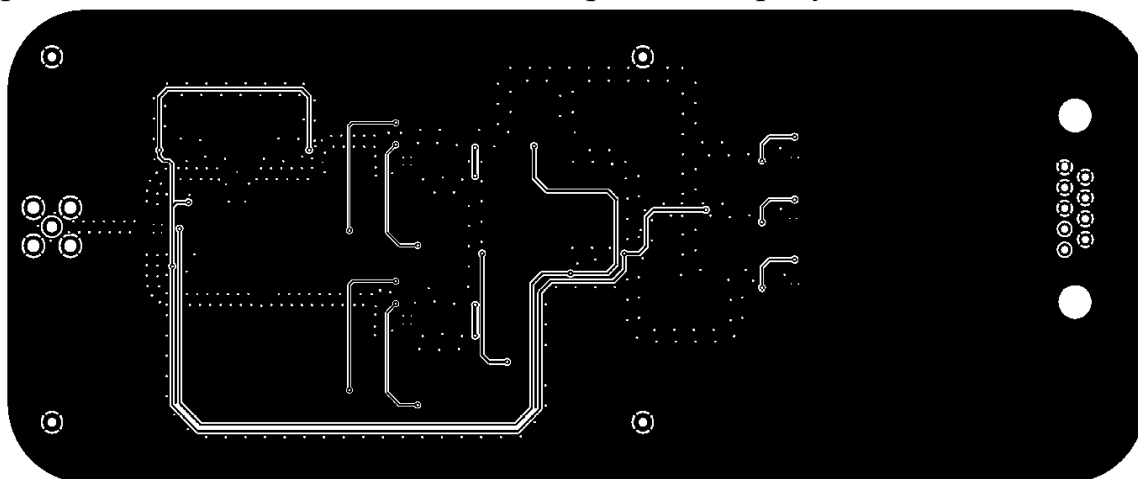


Рисунок 3 – Топология нижнего слоя ДПП

Предусмотрены термобарьеры, представляющие собой зазоры между контактами выводов компонентов, соединяющихся с земляным полигоном. Термобарьеры необходимы для того, чтобы при пайке компонентов на печатную плату нагревались только вывод разъема, стакан металлизации и контактные площадки, а не все полигоны во всех слоях. В соответствии с расчётом, приведённым ранее, толщина диэлектрика составляет 0,168 мм, для придания конструкции печатной платы жёсткости добавлен слой диэлектрика *FR-4* толщиной 1,5 мм.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы была спроектирована печатная плата детектора мощности СВЧ сигналов с АМ. В качестве материала подложки выбран диэлектрик *Rogers 4350b*. ДПП на верхнем слое содержит СВЧ тракт, который был экранирован от внешних источников помех и от перекрёстных помех между компонентами платы. Общая толщина печатной платы составляет 1,758 мм. Разработанный детектор рассчитан на работу в диапазоне 7–9 ГГц, с мощностью входного СВЧ сигнала от минус 50 до 5 дБм. СВЧ вход детектора согласован на волновое сопротивление 50 Ом с КСВ равным 1,1, тип линии СВЧ тракта – копланарная заземлённая.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андронов Е. В. Теоретический аппарат измерений на СВЧ: Т. 1. Методы измерений на СВЧ. / Г. Н. Глазов., Е. В. Андронов – Томск : ТМЛ-Пресс, 2010. – 804 с.
2. Lee C. Broadband root-mean-square detector in CMOS for on-chip measurements of millimeter-wave voltages / C. Lee, W. Choi, R. Han, H. Shichijo, K. K. O // IEEE Electron Device Letters, June 2012, vol. 33, no. 6. P. 752–754.
3. Сабунин А. Е. *Altium Designer*. Новые решения в проектировании электронных устройств / А. Е. Сабунин. – Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 432 с.
4. ARF5040: 9 kHz to 12 GHz SP4T Nonreflective Switch. – Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adrf5040.pdf> (дата обращения: 2019-06-05).
5. ADG839: Single SPDT Switch. – Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADG839.pdf> (дата обращения: 2019-06-05).